

УДК 662.76



## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГТУ

## ANALYSIS OF METHODS OF GTU PERFORMANCE INCREASE

**Смирнов Денис Константинович**, магистрант кафедры «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: DenisSmirnovFame@gmail.com, Тел.: +7(922)178-84-00

**Богатова Татьяна Феоктистовна**, кандидат техн. наук, заведующий каф. «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: [tb-upi@mail.ru](mailto:tb-upi@mail.ru), Тел.: +7(912)243-26-08

**Smirnov D. Konstantinovich**, graduate student of the Department "Thermal power stations", Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: DenisSmirnovFame@gmail.com, Phone: +7(922)178-84-00

**Bogatova T. Feoktistovna**, Doctor Sc., Head of the Department «Thermal Power Plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [t.f.bogatova@urfu.ru](mailto:t.f.bogatova@urfu.ru). Ph.: +7(343)375-47-31

**Аннотация:** Рассмотрены циклы ГТУ с промежуточным охлаждением и регенерацией. Выполнен анализ эффективности ГТУ различных циклов в зависимости от температуры окружающего воздуха, степени повышения давления воздуха в компрессоре, КПД промежуточного охладителя и регенеративного теплообменника. Выполнен анализ эффективности различных циклов. Показано, что при равных условиях термический КПД цикла ГТУ с регенерацией выше термического КПД цикла с промежуточным охлаждением и простого цикла ГТУ.

**Abstract:** GTU cycles with intercooling and with regeneration are considered. The efficiency analysis of GTU of various cycles depending on ambient temperature, air compression ratio, intercooler effectiveness and the regenerator effectiveness is made. The analysis of various cycles efficiency is made. It is shown that under equal conditions the thermal efficiency of GTU with regeneration is higher than the thermal efficiency of the cycle with intercooling and simple cycle GTU.

**Ключевые слова:** газовая турбина; промежуточное охлаждение; регенерация; термический КПД, удельный расход топлива.

**Key words:** gas turbine; intercooling; regeneration; thermal efficiency; specific fuel consumption.

### ВВЕДЕНИЕ

Рост потребления электроэнергии неизбежно приводит к росту выбросов вредных веществ. Поэтому развитие энергоэффективных технологий с высокими технико-экономическими показателями, с низким уровнем выбросов и с приемлемым уровнем удельных капитальных и эксплуатационных затрат является перспективным направлением развития современной энергетики. Применение парогазовых установок (ПГУ) сегодня является наиболее эффективным направлением, КПД современных ПГУ на природном газе достиг 60-61%. Повышение эффективности ПГУ зависит как от схемных решений, так и от эксплуатационных параметров.

### СХЕМЫ ГТУ

Эффективность газотурбинной установки (ГТУ) определяется разностью между всей выработанной газовой турбиной (ГТ) мощностью и мощностью, потребленной компрессором для сжатия подаваемого в камеру сгорания (КС) воздуха. Для повышения эффективности газовой турбины простого цикла (рис. 1), нужно уменьшить мощность, потребляемую компрессором. Но в таких ГТУ для снижения мощности, потребляемой компрессором, необходимо понизить степень сжатия воздуха, что приведет к снижению температуры на выходе из компрессора. В результате в камеру сгорания поступит менее нагретый воздух, следовательно, потребуется сжечь больше топлива в камере сгорания газовой турбины.

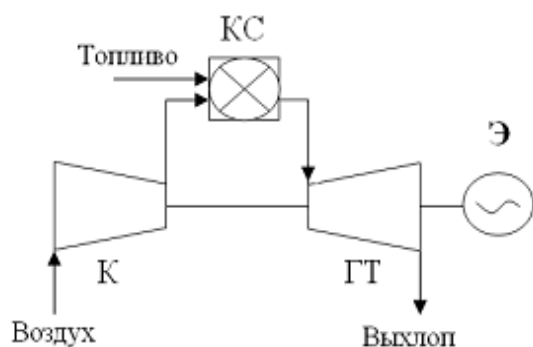


Рис. 1. Схема ГТУ простого цикла  
К – компрессор, КС – камера сгорания, ГТ – газовая турбина, Э – электрогенератор

Способом повысить эффективность газотурбинного цикла является ввод промежуточного охлаждения сжимаемого воздуха (рис. 2), так как чем меньше температура сжимаемого воздуха, тем меньше его удельный объем и, соответственно, тем меньше затрачиваемая на сжатие воздуха в компрессоре работа [1]. При этом компрессор фактически делится на два компрессора – низкого (КНД) и высокого давления (КВД), между КНД и КВД устанавливается промежуточный охладитель. Недостатком такой схемы является удорожание стоимости компрессора.

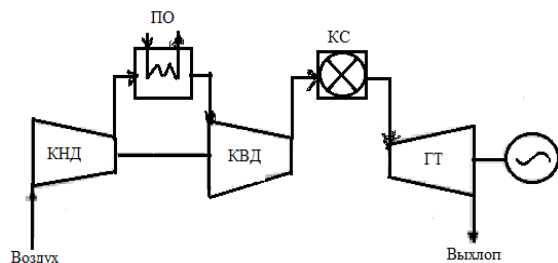


Рис. 2. Схема ГТУ с промежуточным охлаждением

КНД – компрессор низкого давления, КВД – компрессор высокого давления, КС – камера сгорания, ПО – промежуточный охладитель, ГТ – газовая турбина, Э – электрогенератор

КПД промежуточного охладителя определяется тем, сколько теплоты он отводит относительно теплоты нагрева воздуха, добавленной при сжатии его компрессором

$$\eta_{\text{ПО}} = (T_2 - T_3) / (T_2 - T_1),$$

где  $T_1$  – температура воздуха на входе в компрессор,  $T_2$  – температура воздуха после компрессора низкого давления,  $T_3$  – температура воздуха после промежуточного охладителя.

Использование регенеративной схемы ГТУ (рис. 3) также позволяет повысить эффективность

цикла. В такой схеме сжатый воздух после компрессора поступает в регенеративный теплообменник, где происходит его нагрев за счет теплоты уходящих из ГТ газов. В предельном регенеративном цикле предполагается, что воздух может быть нагрет до температуры уходящих из ГТ газов, но в этом случае регенеративный теплообменник должен иметь бесконечно большую поверхность теплообмена. Поэтому предельную регенерацию осуществить невозможно и на практике степень регенерации (доля теплоты уходящих газов, реально используемой при регенерации) составляет 0,5–0,8.

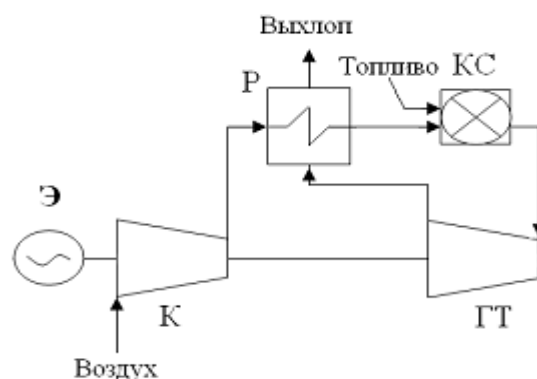


Рис. 3. Схема ГТУ с регенерацией  
К – компрессор, Р – регенеративный теплообменник, КС – камера сгорания, ГТ – газовая турбина, Э – электрогенератор

#### АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦИКЛОВ ГТУ

Для анализа факторов, влияющих на эффективность циклов ГТУ, в [2, 3] были рассмотрены циклы с промежуточным охлаждением (два компрессора КНД и КВД и одна ГТ), регенеративный цикл (один компрессор и одна ГТ).

##### ГТУ с промежуточным охлаждением

Показатели работы ГТУ зависят от температуры наружного воздуха. При ее изменении меняется расход воздуха через компрессор, соотношение внутренних мощностей компрессора и газовой турбины и в итоге – электрическая мощность и КПД ГТУ. Повышение температуры окружающей среды приводит к снижению термического КПД ГТУ с промежуточным охлаждением, рис. 4. Такой же эффект дает понижение КПД промежуточного охладителя.

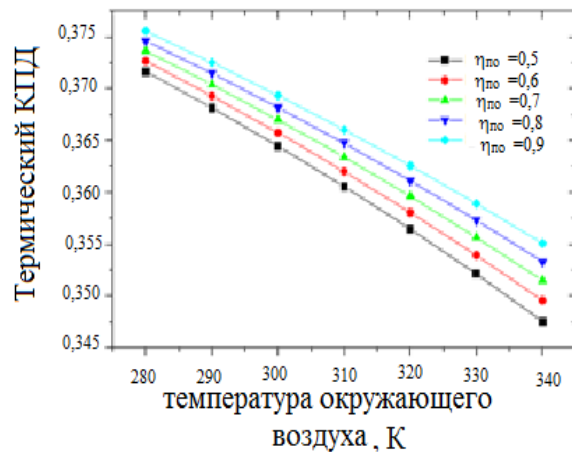


Рис. 4. Влияние температуры окружающей среды и КПД промежуточного охладителя компрессора на термический КПД ГТУ (степень повышения давления в КНД  $\pi_{кнд} = 2$ , степень повышения давления полная – на выходе из компрессора –  $\pi_k = 30$ , температура на входе в ГТ  $t_{ГТ\text{ вх}} = 1500\text{ К}$ )

При работе ГТУ в нерасчетных режимах работы в зависимости от времени года возникает проблема набора как максимальной нагрузки, так и снижения её до технического минимума, особенно при работе в составе блока ПГУ. С повышением температуры окружающей среды выдаваемая ГТУ мощность также снижается, рис. 5.

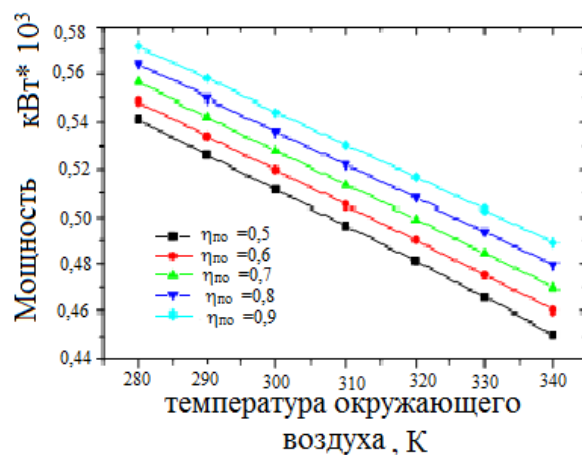


Рис. 5. Влияние температуры окружающей среды и КПД промежуточного охладителя компрессора на мощность ГТУ ( $\pi_{кнд} = 2$ ,  $\pi_k = 24$ ,  $t_{ГТ\text{ вх}} = 1500\text{ К}$ )

Работа компрессора, затрачиваемая на сжатие воздуха, возрастает при увеличении степени повышения давления в компрессоре  $\pi_k$  для заданного значения температуры окружающей среды и  $\pi_{кнд}$  (рис. 6). С увеличением эффективности промежуточного охладителя компрессора  $\eta_{по}$  работа сжатия компрессора уменьшается.

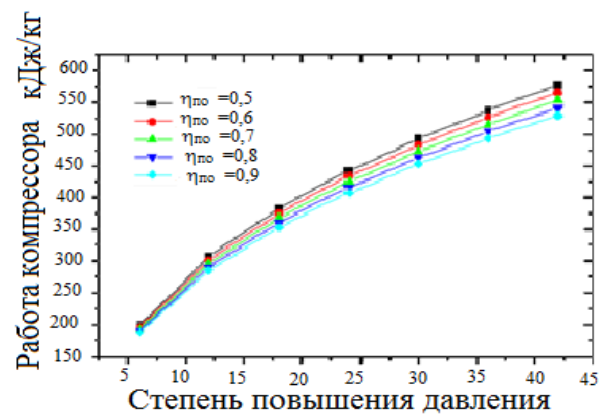


Рис. 6. Влияние степени сжатия и КПД промежуточного охладителя компрессора на работу компрессора ГТУ ( $\pi_{кнд} = 2$ ,  $\pi_k = 24$ ,  $t_{ГТ\text{ вх}} = 1500\text{ К}$ ,  $t_{окр\text{ возд}} = 310\text{ К}$ )

Коэффициент полезной работы ГТУ (отношение полезной работы на валу ГТ к полной работе расширения в газовой турбине) возрастает с увеличением температуры газов на входе в ГТ, рис. 7. Увеличение КПД промежуточного охладителя также приводит к увеличению доли полезной работы ГТ.

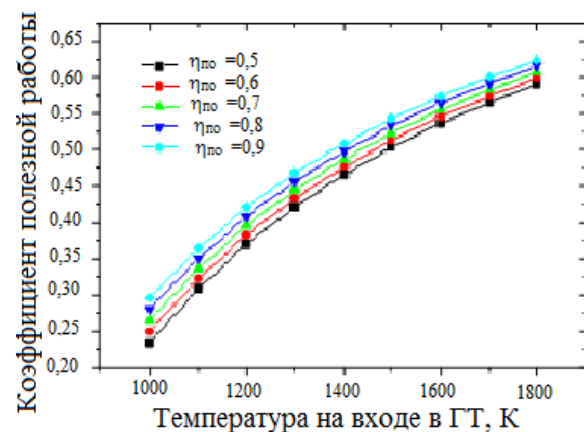


Рис. 7. Влияние температуры на входе в ГТ и КПД промежуточного охладителя компрессора на коэффициент полезной работы ГТУ ( $\pi_{кнд} = 2$ ,  $\pi_k = 30$ ,  $t_{окр\text{ возд}} = 310\text{ К}$ )

#### ГТУ с регенерацией теплоты уходящих газов ГТ

Увеличение температуры окружающего воздуха приводит к снижению термического КПД ГТУ, рис. 8. С повышением КПД регенеративного теплообменника  $\eta_r$  термический КПД цикла возрастает.

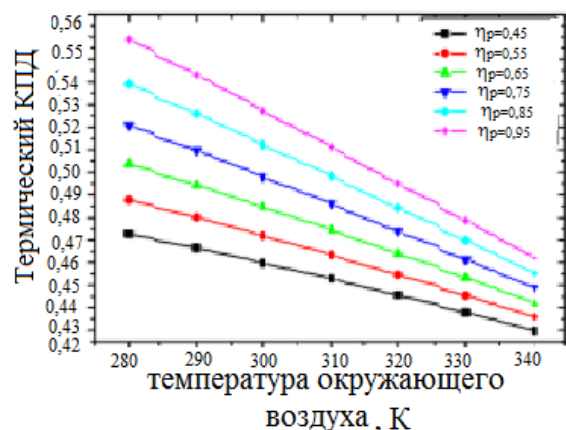


Рис. 8. Влияние температуры окружающей среды и КПД регенеративного теплообменника на термический КПД ГТУ (степень повышения давления  $\pi_k = 20$ , температура на входе в ГТ  $t_{ГТ\text{ вх}} = 1700\text{ К}$ )

С ростом степени повышения давления и с ростом температуры окружающего воздуха удельный расход топлива увеличивается, рис. 9.

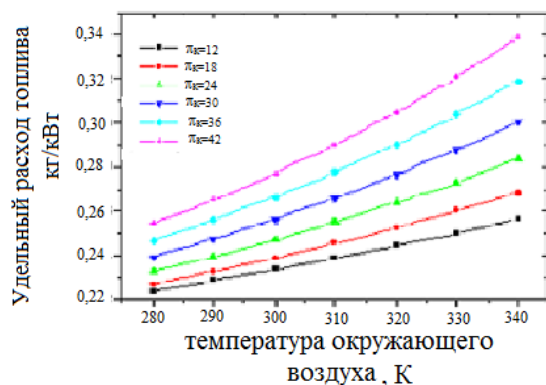


Рис. 9. Влияние температуры окружающей среды и степени повышения давления  $\pi_k$  на удельный расход топлива (КПД регенеративного теплообменника  $\eta_{po} = 0,95$ , температура на входе в ГТ  $t_{ГТ\text{ вх}} = 1700\text{ К}$ )

На рис.10 представлено изменение термического КПД циклов с промежуточным охлаждением, с регенерацией и простого цикла в зависимости от температуры окружающего воздуха. Наиболее высокий КПД у цикла ГТУ с регенерацией, наименьший – у ГТУ простого цикла.

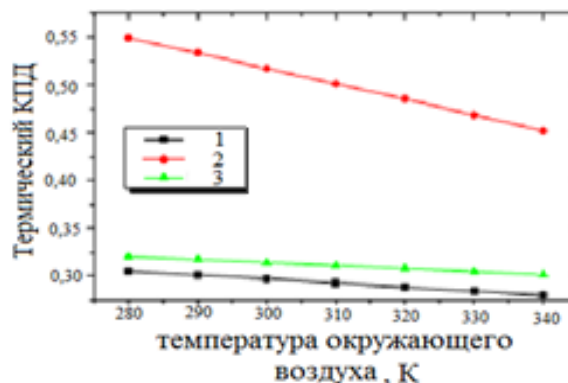


Рис. 10. Изменение термического КПД ГТУ в зависимости от температуры окружающей среды (степень повышения давления  $\pi_k = 20$ , температура на входе в ГТ  $t_{ГТ\text{ вх}} = 1700\text{ К}$ , КПД регенеративного теплообменника  $\eta_p = 0,95$ , КПД промежуточного охладителя  $\eta_{по} = 0,95$ )

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров А.А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок. М.: Издательский дом МЭИ. – 2006. – 158 с.
2. Ahmed A.M., Tariq M. Thermal analysis of a gas turbine power plant to improve performance efficiency // International journal of mechanical engineering and technology (IJMET). 2013. – V.4, Issue 6. – P. 43-54.
3. Ashley D. S., Sarim A. Z. Gas turbine performance at varying ambient temperature // Applied Thermal Engineering. 2011. V. 31. P. 2735-2739.